

FMEA METODA u IZRADI ANALIZE RIZIKA za USTANOVE KOJE KORISTE INDUSTRIJSKI RENDGEN i GAMA UREĐAJE

Tamara, **TOPIĆ**, Veleučilište Velika Gorica, Velika Gorica, Hrvatska, +385 98 321 093,
tamara.topic@vvg.hr

Davor, **KOŽUH**, Ekoteh dozimetrija d.o.o., Zagreb, Hrvatska, +385 98 249 226, dkozuh@ekoteh.hr

SAŽETAK - Temeljem Zakona o radiološkoj i nuklearnoj sigurnosti (NN 28/10), donesen je Pravilnik o odobrenjima i dozvolama za uporabu i promet izvora ionizirajućeg zračenja (NN 71/12). Novi pravilnik od 1.9.2012. propisuje poslovnim subjektima koji koriste izvore ionizirajućeg zračenja – uz ostalo, obaveznu izradu analize rizika.

Prilikom izrade analize rizika kod uporabe ionizirajućih izvora zračenja kao što su akceleratori, rendgenski uređaji i gama izvori zračenja, čije se energije kreću od 100 kV do 10 MeV, vrlo je bitna dosljednost u provjeri i predviđanju svih potencijalnih opasnosti za osoblje i šire okruženje. Parametri FMEA (Failure Mode Effects Analysis) analize su svi funkcionalni elementi operativnog sustava koji koristi rendgenski uređaj, te se za svaki procjenjuju potencijalni rizici i računa se opći pokazatelj rizika od ozračivanja, RPN faktor. RPN na kraju precizno definira područje posebnog nadgledanja i područje nadgledanja. Ove zone moraju se definirati sukladno Pravilniku, no nije naznačeno razgraničenje zona rizika - što može dovesti do različitih gledišta. FMEA metoda pruža precizne pokazatelje, na temelju kojih su zone rizika jasno i jednoznačno definirane.

Ključne riječi: analiza rizika od ionizirajućeg zračenja, FMEA metoda, Pravilnik NN (71/12), Industrijska radiografija, Zakon o radiološkoj i nuklearnoj sigurnosti (NN 28/10)

FMEA RISK ANALYSIS METHOD USED to ASSES RISKS in INSTITUTIONS with INDUSTRIAL RENDGEN and GAMA OPERATIONS

Based on Law on radiological and nuclear safety (NN 28/10), new Code of approvals and licenses for usage and transportation of ionizing radiation sources (NN 71/12) were recently endorsed. It stipulates that each institution operating source of ionization must establish a radiation safety risk assessment procedure.

Risk analysis in institutions that operate ionizing radiation sources, like accelerators, X-ray devices and gamma ray sources, where energy levels diverse from 100kV to 10MeV, requires consistency in detailed control and anticipation of all potential hazards for staff and environmental protection. FMEA (Failure Mode Effects Analysis) analysis risk assessment parameters include functional elements of X-ray operational system. Each is evaluated for potential risks and rated by factors, that combined offer RPN (Risk Priority Number) factor showing exact level of risk for each functional element of working places and processes.. RPN finally defines precisely areas of high, and low risks as defined by Code NN 71/12. Because of not so clear definition of high risk and areas of high surveillance need it could results in different approaches. FMEA offers clear and well defined results of risk operation zones and necessary processes under control .

Key words: protection, operations risk analysis, FMEA method, Code NN(71/12), Industrial radiography, Law on radiological and nuclear safety (NN 28/10)

1. UVOD

Izrada analize rizika za ustanove koje unutar svoje djelatnosti koriste izvore ionizirajućeg zračenja, rendgenske ili gama uređaje, te druge vrste izvora ionizirajućeg zračenja je zahtjevan posao čak i stručnjacima obrazovanim za provođenje zaštite od zračenja i sigurnosti na radu. Novi pravilnik NN 71/12, zahtjeva da ovu analizu izrade i predaju svi poslovni subjekti – neovisno o tome da li imaju odgovarajući stručni kadar i/ili odjel zaštite na radu.

Sukladno Zakonu o zaštiti na radu: *“Za organiziranje i provedbu zaštite na radu odgovoran je poslodavac neovisno o tome je li u tu svrhu odredio radnika za obavljanje aktivnosti zaštite na radu vezanih uz zaštitu i prevenciju od opasnosti i štetnosti, zaposlio stručnjaka za zaštitu na radu, odnosno organizirao službu za zaštitu na radu ili je ugovorio suradnju s fizičkom ili pravnom osobom ovlaštenom za obavljanje poslova zaštite na radu”*. Dakle svaki poslodavac je odgovoran za provedbu mjera zaštite na radu, pa tako i provedbu Pravilnika 71/12, koji nalaže izradu analize rizika od potencijalne opasnosti uslijed korištenja izvora ionizirajućeg zračenja.

Ovim radom je obrađeno rješavanje problematike izrade analize rizika za industrijske rendgenske uređaje, radi usklađivanja mjera zaštite prostora i mjera zaštite na radu sa smjernicama danim Pravilnikom 71/12.

Neovisno o tome što svaki poslovni sustav koji već koristi industrijski rendgenski uređaj unutar radnih prostora, ispitnih laboratorija ili na terenu, provodi određene mjere zaštite od zračenja, u skladu sa navedenim pravilnikom potrebno je analizom rizika utvrditi učinkovitost provedenih mjera obzirom na frekvenciju korištenja prostorija, te učinkovitost mjera zaštite u slučaju kriznih i neočekivanih situacija. Svaki poslovni subjekt dužan je izraditi ovu analizu rizika i predati istu ovlaštenom stručnom tehničkom servisu na ovjeru i stručno mišljenje, koje, uz ostalu zahtjevanu dokumentaciju za

dobivanje dozvole za djelatnost s izvorima ionizirajućeg zračenja, treba predati Državnom zavodu za radiološku i nuklearnu sigurnost. Primjer korištenja FMEA tabele ima svrhu olakšati proces podnošenja zahtjeva poslovnim subjektima, te skratiti proces izrade analize rizika stručnom tehničkom servisu, na način da korisnici pripreme sami potrebne ulazne podatke za analizu, te provedu većinu postupka samostalno. Pravilnikom nije u dovoljnoj mjeri razrađen postupak provedbe analize niti su dane jasne upute za izradu analize rizika, te poslovni subjekti najčešće traže stručnu pomoć za izradu i pripremu analize – što iziskuje utrošak vremena i sredstava.

U Hrvatskoj ima veliki broj rendgenskih i gama uređaja koji se primjenjuju u industriji, a način primjene je vrlo različit ovisno o objektima koji se ispituju, njihovoj veličini, brojnosti i dostupnosti, za razliku od medicinskih uređaja koji su pretežno standardizirani obzirom na relativno mala odstupanja kada se primjenjuju na određeni objekt ispitivanja. Osim toga je u industrijskoj primjeni puno veća snaga izvora što uključuje veću prodornost ionizirajućeg zračenja, te time i veću opasnost.

Za ovakav način korištenja rendgenskog uređaja ima smisla napraviti pripremu za analizu rizika u obliku upitnika, izrađenog na sustavnoj procjeni mogućih potencijalnih zona ozračivanja, koje se određuju sa razumnom procjenom puštanja doze i uz pomoć FMEA sustava, koji nam omogućuje da ne previdimo niti jedan potencijalni rizik. Popunjen predložak/upitnik može se putem elektronske pošte poslati ovlaštenom stručnom tehničkom servisu, koji na temelju pravilno popunjenog formulara može provesti analizu rizika, bez potrebe za izlaskom na teren. Ideja ovog rada i nastojanje da se istraže najbolji načini komunikacije koja odgovara većini u primjeni je da se na taj način ubrza proces zaštite, nadzora nad provedenom zaštitom i cjelokupan sustav pretvori u jednostavnu informatičku aplikaciju sa prijavom putem weba i interaktivnom komunikacijom.

Kod rendgenskih uređaja veće snage, i složenijih sustava – primjena ove metode mogla bi olakšati ne samo prvobitno snimanje stanja i procjene rizika već i fleksibilnost u promjeni stanja i potreba zaštite koja je u velikom broju slučajeva ovisna o procesu proizvodnje, a proces proizvodnje je ovisan o neprestanom razvoju tehnologije i potrebi usklađivanja proizvodnje. Razrađeni FMEA upitnik je u tom smislu također predviđen za primjenu koja omogućuje osobama da daju nepristranu i potpunu informaciju iako nisu stručnjaci za zaštitu od zračenja, čime je uvelike smanjen trošak izrade analize rizika svim službama nadležnim za provedbu ove analize, a posebno samim institucijama koje imaju rok provedbe samo godinu dana od stupanja Pravilnika 71/12 na snagu.

2. ČIMBENICI ZA IZRADU ANALIZE RIZIKA

Čimbenike koje treba obuhvatiti analizom rizika definira Pravilnik o odobrenjima i dozvolama za uporabu i promet izvora ionizirajućeg zračenja (NN 71/12), a Uputa se ovdje navodi u cijelosti radi mogućnosti daljnje razrade same analize, te primjene FMEA metode, a također radi informacije svima koji su na bilo koji način u kontaktu sa primjenom ionizirajućeg zračenja i potrebom poznavanja zaštite od ionizirajućeg zračenja. Podatci koji se traže i moraju uključiti u analizu su sljedeći:

1. Opći podaci o djelatnosti

1.1. Naziv i adresa pravne ili fizičke osobe, odnosno tijela državne uprave ili tijela lokalne i područne (regionalne) samouprave te ime i prezime osobe ovlaštene za zastupanje

1.2. Ime i prezime, zvanje i zanimanje osobe odgovorne za zaštitu od ionizirajućeg zračenja

1.3. Organizacijska struktura (unutarnje ustrojstvene jedinice) s naznakom onih unutarnjih jedinica koje za obavljanje djelatnosti koriste izvore ionizirajućeg zračenja

1.4. Opis djelatnosti s izvorima ionizirajućeg zračenja

2. Podaci o izvorima ionizirajućeg zračenja i prostorijama u kojima se upotrebljavaju

2.1. Opis izvora ionizirajućeg zračenja i uređaja u koje su izvori ionizirajućeg zračenja ugrađeni (navesti najmanje: vrstu izvora ionizirajućeg zračenja: rendgenski uređaj, akcelerator, zatvoreni/otvoreni radioaktivni izvor; za rendgenski uređaj/akcelerator: tip uređaja, max. kV/MeV, mobilni/fiksni; za otvorene/zatvorene radioaktivne izvore: max. aktivnosti)

2.2. Podaci o brzini doze na površini izvora ionizirajućeg zračenja te na udaljenostima 0,1 m i 1 m od izvora ionizirajućeg zračenja i mogućem radioaktivnom onečišćenju (kontaminaciji)

2.3. Tlocrt i opis prostorija u kojima se izvori ionizirajućeg zračenja koriste, kao i susjednih prostorija, s naznačenim područjem nadgledanja i područjem posebnog nadgledanja

2.4. Opis sustava provjetravanja

2.5. Predviđeno trajanje uporabe izvora ionizirajućeg zračenja

2.6. Postupanje s radioaktivnim otpadom i njegovo zbrinjavanje te način ispuštanja radioaktivnih tvari u okoliš

3. Mjere zaštite izloženih radnika i stanovništva od ionizirajućeg zračenja

3.1. Zaštita izvora ionizirajućeg zračenja i prostorija u kojima se izvor ionizirajućeg zračenja koristi

3.2. Sustavi zaštite (najmanje podatke o znakovima upozorenja, sustavima za prekid zračenja i sl.) 3.3. Administrativne mjere zaštite (najmanje podatke o raspodjeli odgovornosti, organizaciji poslova vezano uz uporabu izvora ionizirajućeg zračenja, pisane procedure i sl.)

3.4. Uporaba osobnih dozimetara i drugih uređaja za mjerenje razine ionizirajućeg zračenja

3.5. Osobna zaštitna sredstva

3.6. Program provjere ionizirajućeg zračenja u prostorijama i radnom okolišu u kojem se koriste ili čuvaju izvori ionizirajućeg zračenja, na radnim mjestima radnika te u susjednim prostorijama ovisno o mjestu uporabe i vrsti izvora

4. Izlaganje ionizirajućem zračenju kao posljedica obavljanja djelatnosti i zbrinjavanja radioaktivnog otpada

4.1. Opis radnih mjesta i poslova najvećeg rizika u smislu ozračenja

4.2. Procjena ozračenja izloženih radnika (efektivna i ekvivalentna doza) pri normalnim uvjetima rada

4.3. Procjena ozračenja kritične skupine stanovništva kao posljedica obavljanja djelatnosti s izvorima ionizirajućeg zračenja i zbrinjavanja radioaktivnog otpada

5. Ozračenje u slučaju izvanrednog događaja

5.1. Identifikacija mogućih nezgoda pri obavljanju djelatnosti s izvorima ionizirajućeg zračenja

5.2. Procjena razmjera radioaktivnog onečišćenja (kontaminacije)

5.3. Procjena potencijalnog ozračenja izloženih radnika (efektivna i ekvivalentna doza) u slučajevima navedenim pod 5.1. i 5.2.

5.4. Procjena potencijalnog ozračenja stanovništva u slučajevima navedenim pod 5.1. i 5.2.

5.5. Procjena ukupnog rizika koji nosi djelatnost

6. Plan optimizacije zaštite od ionizirajućeg zračenja

6.1. Priprema izvješća o provedbi zaštite od ionizirajućeg zračenja i ozračenju izloženih radnika

6.2. Praćenje pokazatelja rizika

6.3. Identifikacija i provjera ozračenja, uključujući kriterije za izvješćivanje u slučaju prekoračenja granica izlaganja

6.4. Plan smanjenja rizika vezanog uz ozračenje

6.5. Plan smanjenja ozračenja
7. Ovjera i stručno mišljenje ovlaštenog stručnog tehničkog servisa s predloženim mjerama smanjenja rizika

3. FMEA ANALIZA I PRIMJENA

FMEA je metoda razvijena 50-ih godina prošlog stoljeća. Tokom drugog svjetskog rata američke oružane snage otkrile su poražavajuće rezultate u pouzdanosti svoje opreme. Prema dostupnim informacijama veliki postotak opreme isporučene na bojišta je bio neispravan kao i gotovo polovica pričuvne opreme u skladištima. Nakon ovakvih rezultata ubrzano se počinje razvojem metoda koje će osigurati pouzdanost opreme. FMEA metoda, opisana u dokumentu MIL-STD-1629, je integralni dio vojnih nastojanja da podignu pouzdanost opreme i procesa.

Premda je metoda izvorno korištena za vojne potrebe, zbog mogućnosti široke primjene metodu je brzo prihvatio i civilni sektor. Američka udruga inženjera automobilske industrije (Society for Automotive Engineers) usvojio je FMEA metodu u dokumentu ARP926 (1967.) koji je do danas doživio dvije promjene i u širokoj je primjeni pod nazivom ARP4761. Jedan od najranijih civilnih korisnika FMEA metode je Ford koji je metodu primijenio u dizajnu svojih vozila nakon što je 1978. godine, ovaj proizvođač

bio primoran povući sa tržišta vozilo Ford Pinto, nakon što su utvrđeni nedostaci u dizajnu spremnika za gorivo.

Danas je FMEA metoda integrirani dio 6 Sigma metodologije i korištena je od strane mnogih kompanija ili ustanove koje žele ili moraju garantirati visoku razinu pouzdanosti svog proizvoda.

FMEA metoda omogućava razumijevanje i sprečavanje incidenata koji nastaju kao posljedica djelovanja nesigurnih uvjeta ili djelovanja prijetnji i sistematizaciju potencijalnih opasnosti i rizika na sustav. FMEA sustav određuje sukladno odabranom aspektu procjene rizika – sliku potencijalnih opasnosti – te dodjeljuje rizicima koeficijent (indeks). Ovaj numerički pokazatelj je potreban radi definiranja stupnja rizika na temelju kojeg se zatim donosi odluka o potrebnim mjerama u zaštitne i preventivne svrhe.

Sustavno se pregledavaju i procjenjuju svi mogući potencijalni neželjeni događaji (uslijed pogreške ili vanjskog faktora) u sustavu, te eventualne posljedice takvih događaja na sustav:

- Izrađuje se popis i analiziraju sve moguće potencijalne pogreške, te njihovo potencijalno djelovanje na sustav
- Određuju se mogući uzroci pogrešaka
- Ocjenjuju se specifikacije proizvoda ili postupci za nadzor procesa s obzirom na njihove mogućnosti za otkrivanje i prevenciju pogrešaka
- Određuju se prioriteti kroz procjenu mogućnosti pojave i mogućeg učinka
- Uspostave se odgovarajući postupci i/ili instrukcije za provjeru,
- Utvrđuju se odgovornost za provođenje postupaka
- Usklađuju se s novim postupcima i korigiraju prethodni dokumenti i preventivne mjere

Sustavna priprema za primjenu FMEA nameće određene zahtjeve, čije su prednosti vidljive u sljedećem :

- dobiva se potpuno razumijevanje

potencijalnih problema u cilju prevencije pogrešaka u fazi projektiranja proizvoda i sustava zaštite ili u fazi realizacije,

- smanjuje se rizik kroz opoziv akcija pomoću praćenja kritičnih pogrešaka,
- smanjuju se troškovi i vrijeme za naknadne promjene proizvoda i poboljšanje ispitnih mjera kroz uštedu u fazama dizajna i planiranja

Zbog relativne jednostavnosti i razumljivosti metoda je primjerena i za brzu uvodnu procjenu koja daje i vrlo brze rezultate u primjeni, a kasnije može slijediti detaljna procjena.

Analiza čimbenika rizika po metodi FMEA temelji se na procjenama i mišljenjima stručnjaka a također se koriste podatci iz prethodnih događanja.- U interesu izbjegavanja subjektivnog pristupa čimbenici rizika definiraju se prema unaprijed zadanim tablicama u kojima kvalitativnom opisu jačine promatrane pojave odgovara kvantitativni iznos. Za metodu FMEA karakteristična je odgovarajuća dodjela relativnih kvantitativnih veličina pojedinim čimbenicima funkcije rizika (RPN).

Rizik se izračunava kao matematička funkcija (RPN) koja zavisi od: učinaka (S) i vjerojatnosti (O) da će neki slučaj dovesti do pogreške povezane s definiranim učincima, te sposobnosti otkrivanja pogreške (D) prije nego ostvari svoje učinke, odnosno:

$$RPN = [S] \times [O] \times [D]$$

Za svaku izdvojenu moguću pogrešku se izračunava rizik pa se pojedinačni rizici i rizici posebno zanimljivih izvora nastajanja izračunavaju brzo i precizno.

FMEA metoda je vrlo pogodna za manje sustave. Iako se u literaturi spominje da nije primjerena za veće sustave ona se ipak primjenjuje uz pomoć prilagođenih programskih alata čime se može bitno olakšati praćenje više mogućih izvora rizika.

4. PRIMJENA FMEA METODE U ANALIZI RIZIKA PRI KORIŠTENJU UREĐAJA S IONIZIRAJUĆIM ZRAČENJEM

Prilikom analize rizika kod uporabe ionizirajućih izvora zračenja kao što su akceleratori, rendgenski uređaji i gama izvori zračenja, čije se energije kreću od 100 kV do 10 MeV, vrlo je bitna dosljednost u provjeri svih potencijalnih opasnosti za osoblje i šire okruženje. Oprema za ispitivanje metodom radiografije ili radioskopije je vrlo različita. Najčešće se koriste rendgenski uređaji do 320 kV koji su prenosivi. Stacionarni uređaji su uglavnom do 450 kV a rjeđe, ali za ispitivanje velikih komponenti, koriste se akceleratori i do 10 MeV-a. Nadalje treba uzeti u obzir i geometriju snopa ionizirajućeg zračenja koji ovi uređaji emitiraju u prostor, a koje može biti usmjereno i panoramsko.

Ove parametre svakako treba uključiti u FMEA analizu i utvrditi bitna pitanja za provjeru, koja se ne smiju previdjeti.

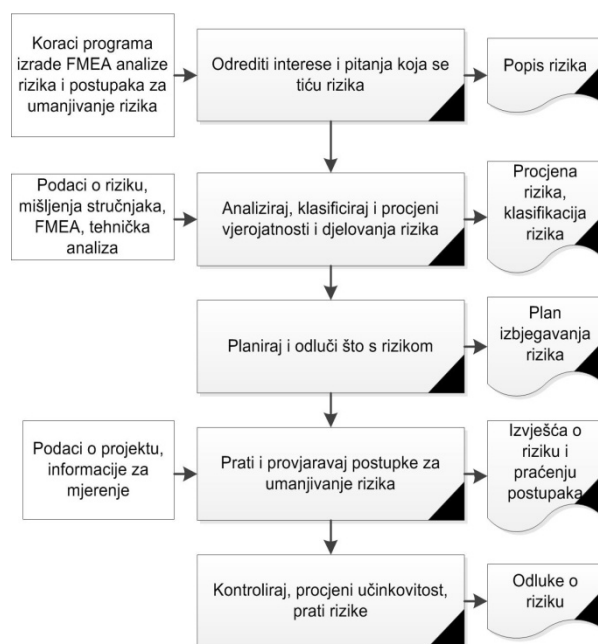
Analiza zatim razlaže svako od potencijalnih mogućih mjesta rizika, na tri spomenute komponente rizika:

S – jakost učinka, O – vjerojatnost da do rizičnog događaja uopće dođe i D- vjerojatnost otkrivanja opasnog događaja (npr. mogućnost pojave prekomjerne doze zračenja u trenutku nastanka ili pravovremeno prije događaja).

Kod uporabe izvora ionizirajućeg zračenja uvijek se primjenjuje osnovni princip da se doza zračenja za osoblje i okruženje smanji koliko je to razumski moguće (As Low As Reasonably Achievable, ALARA princip). U skladu sa ovim principom postavlja se crta razgraničenja područja izloženosti (opasnosti) tj. zone posebnog nadgledanja i zone nadgledanja, zone u koju ulaze ovlaštene osobe, odnosno osobe sa odgovarajućim znanjem i odgovornostima i zone u kojima postoji potencijalna opasnost. Jednom kad se sustavno primjeni FMEA analiza, dileme oko granice zone visokog, srednjeg i niskog rizika više nema. Sve je vrlo jasno definirano, a svakom riziku određen je

koeficijent vjerojatnosti pojave u odnosu na jakost učinka i mogućnost detekcije istog. Točne zone razgraničenja određene su dakle na temelju mjerljivih pokazatelja te je jasno koje mjere predostrožnosti se mora poduzeti, zbog kojeg potencijalnog rizika i koliko će ta mjera umanjiti rizik.

FMEA analiza postavlja se na slijedeći način:



Slika 1. Postupak FMEA analize

U konkretnom primjeru analize rizika industrijskih rendgenskih uređaja, potrebno je prvo prikupiti podatke o izvoru ionizirajućeg zračenja i njegovim karakteristikama, prostorijama u kojima se upotrebljava i okolnom prostoru koji je u neposrednom kontaktu sa izvorom. Detaljan upitnik izrađuje se sukladno uputama za izradu analize opisanim u poglavlju 1. ovog članka, točka 2. i točka 3.

Važno je da su prikupljeni podaci – a posebno tlocrt prostorija sa izvorom zračenja, i ostalih okolnih prostorija – točni i precizni. Za točnost podataka odgovoran je vlasnik poslovnog prostora.

Slijedeći korak je određivanje elemenata ključnih za procjenu rizika.

Kriteriji za projektiranje prostorija u kojima se koriste izvori ionizirajućeg zračenja su određeni propisima, najčešće nacionalnim a mogu biti važeći i u širem području. U Hrvatskoj propisi predviđaju da se radna mjesta na kojima bi doza mogla premašiti 1mSv/godišnje razvrstaju u dva područja.

PODRUČJE POSEBNOG NADGLEDANJA

– je bilo koje područje u okviru kojeg očekivane doze mogu premašiti 6mSv/godišnje, a smatra se da je stupanj rizika takav da je potreban poseban nadzor.

PODRUČJE NADGLEDANJA – je područje u okviru kojeg očekivana doza može premašiti 1mSv godišnje, no neće premašiti 6mSv godišnje.

Procjena rizika vrši se sukladno tablici u nastavku, koja je temelj za FMEA analizu:

Opći pokazatelj rizika (tablica 2.) računamo kao umnožak tri faktora rizika, te sukladno tome dobiveni RPN pada unutar reda veličine od 1 do 100. Sukladno tome RPN određuje koju zonu rizika je potrebno proglasiti prije uvedenih preventivnih mjera, no također i nakon uvedenih preventivnih i korektivnih mjera zaštite.

Propisi vezani za zaštitu od ionizirajućeg zračenja, temelje se na tri osnovna načela:

- 1) Svaka aktivnost čija je posljedica izlaganje ionizirajućem zračenju mora biti opravdana dobrobiti koju donosi;
- 2) Sva izlaganja moraju biti toliko niska koliko je to razumno moguće (ALARA-as low as reasonably achievable);
- 3) Efektivna doza za bilo kojeg pojedinca ne smije prijeći propisanu granicu.

Kako bi se zračenje moglo održati „toliko nisko koliko je razumski moguće“, potrebno je optimizirati projekt odjela ne samo izgradnjom, već i radnim postupcima, te osiguranju ispravnosti opreme. Kod same izgradnje, radi zaštite od zračenja, potrebno je provesti ocjenu stupnja zaštitne moći građevinskih elemenata i materijala. Na temelju debljine i gustoće zidova, određuje

UTVRĐIVANJE STUPNJA RIZIKA			
Stupanj rizika	STUPANJ POTENCIJALNE OPASNOSTI - UČINAK (S)	VJEROJATNOST POJAVE (O)	MOGUĆNOST OTKRIVANJA POJAVE (VJEROJATNOST OTKRIVANJA) - (D)
10	Opasnost od ozračivanja bez upozorenja	Vrlo visoka. Ozračenje je neupitno	Nemoguće je otkriti zračenje pravovremeno
9	Opasnost od ozračivanja uz upozorenje	Vrlo visoka. Ozračenje je neupitno	Vrlo niska vjerojatnost pravovremenog otkrivanja
8	Brzina doze ≥ 1 mSv/h	Visoka. Učestalost događaja velika	Niska vjerojatnost pravovremenog otkrivanja
7	Brzina doze < 1 mSv/h	Visoka. Često ponavljanje događaja	Vrlo mala vjerojatnost otkrivanja
6	Brzina doze $< 500\mu\text{Sv/h}$	Umjerena. Povremeno javljanje događaja	Niska, mogućnost otkrivanja zračenja mala
5	Brzina doze $< 300\mu\text{Sv/h}$	Umjerena. Povremeno javljanje događaja	Umjerena, velika mogućnost otkrivanja
4	Brzina doze $< 50\mu\text{Sv/h}$	Umjerena. Određen broj ponavljanja	Umjerenavelika mogućnost otkrivanja
3	Neznatno zračenje prihvatljivo za povremeno izlaganje djelatnika/ Neznatna mogućnost greške	Niska, relativno mali broj pojava	Vrlo visoka vjerojatnost otkrivanja
2	Neznatno zračenje prihvatljivo za pučanstvo	Niska, relativno mali broj pojava	Vrlo visoka vjerojatnost otkrivanja
1	Potpuno znemajivo zračenje/ Zanemarliva mogućnost greške	Zanemarliva, događaj je vrlo male vjerojatnosti	Gotovo sigurno otkrivanje zračenja

Tablica 1 Utvrđivanje stupnja rizika

se propusnost zidova na ionizirajuće zračenje. Jačina doze zračenja opada proporcionalno gustoćom materijala i kvadratom udaljenosti.

Opći pokazatelj rizika od ozračivanja $RPN = S \times O \times D$			
$RPN < 10$	Zona zanemarivog rizika		
$10 < RPN < 100$	Zona niskog rizika		
$RPN > 100$	Zona visokog rizika		

Tablica 2 Opći pokazatelj stupnja rizika

Nadalje praćenje rizika se svodi na korelaciju između slijedećih čimbenika: vremena izlaganja zračenju, udaljenosti od izvora zračenja, te vjerojatnosti pojave izloženosti zračenju. Kad se ova tri faktora pomnože, dobije se RPN na temelju kojeg se zatim određuje da li je i na koji način potrebno preventivno zaštitno djelovati, da li ugrađivati dodatne štitove od zračenja, ili uvoditi dodatne sigurnosnu uređaje, alarme, odnosno sigurnosne postupke za osoblje. Također se određuju kontrolne točke cjelokupnog procesa, gdje i kad sustavno utvrđujemo da li je zaštita od zračenja uredno definirana, te da li se provodi sukladno propisanim pravilnicima. Zakonski maksimalna dozvoljena doza

za stanovništvo je 1mSv/godinu, a za profesionalce 20mSv/godinu. Ova doza izlaganja je u biti doza koju stanovništvo smije ukupno godišnje primiti od svih uređaja i sveukupno svih izvora zračenja nastalih ljudskim djelovanjem. Zbog toga je zona visokog rizika u biti uzeta sa velikim faktorom sigurnosti – te se u realnoj situaciji čak i u zoni visokog rizika vrlo teško može dogoditi da dođe do prekomjernog ozračivanja.

RPN	63
VJEROJATNOST DETEKCIJE (D)	1
VJEROJATNOST POJAVE (O)	7
UČINAK (S)	9
Potencijalni štetni učinci rizika MPE* (mSv/godišnje)	Neovlašteni ulazak u prostor za vrijeme eksponiranja zračenjem
Potencijalna mogućnost ozračivanja/uzrok pogreške / kritične točke	Kritična kontrolna točka 1: Ulazna vrata u prostor
Funkcija	Snimanje uzoraka
Predmet analize:	1. Prostoriju u kojoj je rendgenski uređaj (snimaona)
PROSTOR U KOJEM SE NALAZI RENDGENSKI UREĐAJ	

Tablica 3 Primjer jednog elementa iz FMEA tablice analize rizika

U tablici 3 je dan primjer jednog elementa iz FMEA tablice analize rizika, radi uvida u operativni pristup metode. Za svaki pojedini funkcijski element određuju se rizici te konačno i RPN ukupni faktor prioriteta rizika.

5. ZAKLJUČAK

Provedbom analize rizika FMEA metodom, daje se jasna i transparentna slika o potencijalnim mogućim situacijama uslijed kojih bi moglo doći do prekomjernog ozračivanja djelatnika ili korisnika izvora ionizirajućeg zračenja, odnosno osoba koje koriste susjedne prostorije. Na ovaj način precizno su definirani pokazatelji rizika, te je praćenje popravnih radnji olakšano. Ustanove koje koriste izvore ionizirajućeg zračenja mogu i samostalno koristiti analizu kad vrše samoanalizu i provjeru sustava zaštite, kao podsjetnik i uputu. Tablica daje jasan pokazatelj opravdanosti investicije u mjere zaštite i potrebu edukacije, odnosno preventivnih i popravnih radnji – kako bi se rizik sveo na prihvatljivu mjeru.

Vrijednost prihvatljive mjere rizika je prikazana kvantitativno čime je znatno umanjena subjektivnost pristupu ocjene rizika, a dodatno se izbjegava mogućnost nepotrebnog preinvestiranja ili nedovoljnog investiranja u sustav sigurnosti i zaštite.

6. LITERATURA:

- [1] Krstelj,V.: „Radiografska kontrola“, Odabrana poglavlja, Hrvatsko društvo za kontrolu bez razaranja, Zagreb, 2000.
- [2] Novaković,M.: „Zaštita od ionizirajućeg zračenja“, Zagreb, 2001
- [3] Zakon o radiološkoj i nuklearnoj sigurnosti (NN 28/10)
- [4] Pravilnik o odobrenjima i dozvolama za uporabu i promet izvora ionizirajućeg zračenja (NN 71/12)
- [5] Publikacija Državnog zavoda za zaštitu od zračenja: „Rendgen uređaj u medicini“
- [6] Pravilnik o mjerenju osobnog ozračenja, ispitivanju izvora ionizirajućeg zračenja i uvjeta rada te o izvješćima i očevidnicima “Narodne novine” br. 41/12
- [7] Topić,T; Kožuh,D; Bralić,V: „Primjena FMEA metode pri izradi analize rizika djelatnosti vezanih uz ionizirajuće zračenje, identifikacije mogućih izvanrednih događaja i evaluacije stupnja rizika“, VI.međunarodna konferencija “DANI KRIZNOG UPRAVLJANJA”, Zbornik radova/ Veleučilište Velika Gorica (ur.), Velika Gorica:Veleučilište Velika Gorica, 2013.

NDT week in ZAGREB 7-12. October 2013

MATEST & CERTIFICATION CONFERENCE PROCEEDING

